

# 「あすか」姿勢ファイルの時刻エラーについて

藤本龍一 (宇宙研)

2001年12月3日

## Abstract

「あすか」姿勢ファイルの時刻の取り扱いにバグがあったので、その内容と原因、影響について説明する。

## 1 姿勢ファイルの時刻のバグ

「あすか」の姿勢決定では、テレメトリ FRF のミッション時刻<sup>1</sup>を UT に変換して姿勢決定を行ない、その UT を再びミッション時刻に戻して姿勢ファイルを作成していた。この時、最初のミッション時刻 → UT の変換では閏秒が正しく考慮されていたが、UT → ミッション時刻の再変換では閏秒が考慮されていなかった<sup>2</sup>。そのため、閏秒が入るたびに、姿勢 FRF に記述されるミッション時刻が遅れるようになっていた。「あすか」の打ち上げから大気圏再突入までに閏秒は合計 5 回 (5 秒) 挿入されており、したがって、ミッション終了時には姿勢ファイルのミッション時刻が 5 秒遅れていたことになる。

## 2 バグの影響について

まず、ポインティング中で姿勢が安定している場合には、姿勢ファイルに 5 秒の時刻のずれがあったとしても、「あすか」の姿勢決定精度の範囲内ではまず問題にはならない。

マヌーバ終了直後や STT によって姿勢誤差が判明して姿勢を更新した場合には、最悪のケースで最大レート  $0.05 \text{ deg/s} \times \text{時間差 } 5 \text{ 秒} = 0.25 \text{ deg}$  のずれが生じうる。したがって、姿勢が安定していない場合については数分にわたって問題が生じる可能性がある。ただし、多くの場合、このようなデータは使われていないと考えられる。

もっとも問題になるのはマヌーバ中のデータを使用した場合である。実際、本問題も海老沢氏によるマヌーバデータを使った「あすか」slew survey のデータ解析中に発覚した。海老沢氏の解析によると、閏秒の補正をしない場合ではマヌーバ中の Cyg X-1 の位置が大きくずれたのに対して、閏秒の補正を行なうと  $0.15\text{--}0.2$  度程度 (パルスウェイト推定誤差による不定性) の範囲で一致するという結果が得られている。

## 3 修正を行なう場合の処方せん

「あすか」打ち上げからミッション終了までに、以下の閏秒が挿入された。

- 1993年7月1日0時0分0秒に1秒
- 1994年7月1日0時0分0秒に1秒
- 1996年1月1日0時0分0秒に1秒
- 1997年7月1日0時0分0秒に1秒
- 1999年1月1日0時0分0秒に1秒

閏秒挿入前後で UT は 23 時 59 分 58 秒、59 秒、60 秒、0 時 0 分 0 秒、1 秒のように記述される。したがって、閏秒が挿入された前後で UT あるいは MJD で時刻の引き算を行なうと、実際の経過時間よりも 1 秒短くなってしまふ。このような不定性を除くためにミッション時刻が定義され、同

<sup>1</sup>1993年1月1日0時0分0秒からの通算秒 (閏秒を含む)。ascatetime と呼ぶこともある。

<sup>2</sup>時刻変換はいずれも宇宙研が担当した。

時にミッション時刻と UT/MJD との変換関数を用意したが、姿勢ファイル作成時の UT → ミッション時刻変換にはこの変換関数を用いずに MJD を使って変換していたために、閏秒が考慮されていなかった。

### 3.1 1993 年 7 月 1 日

姿勢ファイル fa930630\_1425.0231 (観測天体: NGC 4472) の時刻は以下のようになっている。

```
28902 15638394.39411610 1993/06/30 23:59:54
28903 15638398.39409441 1993/06/30 23:59:58
28904 15638402.39411294 1993/07/01 00:00:01 ... (A)
28905 15638405.39409667 1993/07/01 00:00:04 ... (B)
28906 15638409.39411521 1993/07/01 00:00:08
28907 15638413.39409351 1993/07/01 00:00:12
```

ただし、1 列めが行番号 (最初が 1)、2 列めが TIME コラムの値 (ミッション時刻)、3 列めが正しく変換した UT である。通常 4 秒間隔<sup>3</sup>で並んでいるデータが、閏秒が考慮されなかったために (A) と (B) の間だけ 3 秒になっていることがわかる。姿勢決定自体は閏秒を考慮した UT を用いているので、閏秒を挟んだ前後のデータの時間経過が正しくないことを除けば、正しい計算を行っている。したがって、姿勢 FRF ファイルのミッション時刻の値を読みかえればよい。つまり、正しくは (B) 以降のミッション時刻はすべて 1 秒ずつ加算しなければならない。また、同ファイルのヘッダーは

```
MTIME0 = 15603900.5100 / Data start time in mission time
MTIME1 = 15647465.3625 / Data end time in mission time
DATE0 = '30/06/93' / Date(dd/mm/yy) of the data start time (UT)
TIME0 = '14:25:00' / Time(hh/mm/ss) of the data start time (UT)
DATE1 = '01/07/93' / Date(dd/mm/yy) of the data end time (UT)
TIME1 = '02:31:05' / Time(hh/mm/ss) of the data end time (UT)
```

となっているが、正しくは MTIME1 が 15647466.3625 である。これ以降、次の閏秒が入るまではすべて、

- TIME コラムの値は 1 秒加算
- MTIME0 と MTIME1 の値は 1 秒加算

するのが正しい。(TIME1 の計算では閏秒が考慮されていなかったために、現状の MTIME1 に対応する UT よりも 1 秒進んでいる。したがって、MTIME1 に 1 秒加算した場合に正しくなる。)

### 3.2 1994 年 7 月 1 日

以下は、姿勢ファイル fa940630\_1323.1620 (観測天体: GP Com) の閏秒挿入前後の時刻を示したものである。3 列めは正しく変換した UT である。

```
30142 47174400.80888718 1994/06/30 23:59:59.8
30143 47174401.30890459 1994/06/30 23:59:60.3
30144 47174401.80888176 1994/06/30 23:59:60.8
30145 47174402.30889916 1994/07/01 00:00:00.3 ... (A)
30146 47174401.80888176 1994/06/30 23:59:60.8 ... (B)
30147 47174402.30889916 1994/07/01 00:00:00.3 ... (C)
30148 47174402.80887634 1994/07/01 00:00:00.8 ... (D)
30149 47174403.30889374 1994/07/01 00:00:01.3
```

ここでは bit H であったために 0.5 秒間隔で姿勢データが得られており、閏秒挿入し忘れによって (B) でミッション時刻が 1 秒時間が戻ったために、同じ時刻が 2 度現れている。正しくは、(A) までのデータはすべてミッション時刻に 1 秒加算、(B) 以降は 2 秒加算する必要がある。なお、宇宙研に保管されている姿勢ファイルではこのようになっているが、GSFC ではデータプロセス時に姿勢ファイルの時刻反転を検出すると該当箇所を姿勢ファイルから削除するようになっているとのことである。したがって、GSFC で使われている姿勢ファイルでは (B)、(C) は含まれておらず、この場合は (D) 以降の時刻に 2 秒加算すればよい。このファイルのヘッダーは、

<sup>3</sup>テレメトリ 1 スーパーフレームに対して 4 つの姿勢データが得られる。テレメトリが 16 秒間隔の場合 (bit M)、姿勢データは 4 秒間隔となる。

```

MTIME0 = 47136207.9402 / Data start time in mission time
MTIME1 = 47233249.5096 / Data end time in mission time
DATE0 = '30/06/94' / Date(dd/mm/yy) of the data start time (UT)
TIME0 = '13:23:27' / Time(hh/mm/ss) of the data start time (UT)
DATE1 = '01/07/94' / Date(dd/mm/yy) of the data end time (UT)
TIME1 = '16:20:49' / Time(hh/mm/ss) of the data end time (UT)

```

となっているが、正しくは MTIME0 に 1 秒加算、MTIME1 に 2 秒加算する。TIME0 と TIME1 はそのままでもよい。これ以降、次の閏秒が入るまではすべて、

- TIME コラムはすべて 2 秒加算
- MTIME0 と MTIME1 の値を 2 秒加算

するのが正しい。

### 3.3 1996 年 1 月 1 日

以下は姿勢ファイル fa951230\_1625.1222 (観測天体: NGC 4636) の 1 月 1 日 9 時付近の時刻を示したものである。

```

31660 94640398.80270213 1996/01/01 08:59:55
31661 94640402.80268043 1996/01/01 08:59:59
31662 94640406.80269897 1996/01/01 09:00:03 ... (A)
31663 94640409.80268270 1996/01/01 09:00:06 ... (B)
31664 94640413.80270123 1996/01/01 09:00:10
31665 94640417.80267954 1996/01/01 09:00:14

```

この時は誤って 9 時 0 分 0 秒に閏秒を挿入してしまったため、0 時付近ではなく 9 時付近に時刻の不整合が生じた。したがって、(A) までは 2 秒加算、(B) 以降は 3 秒加算する必要がある。このファイルのヘッダーは

```

MTIME0 = 94494315.2667 / Data start time in mission time
MTIME1 = 94738917.4950 / Data end time in mission time
DATE0 = '30/12/95' / Date(dd/mm/yy) of the data start time (UT)
TIME0 = '16:25:15' / Time(hh/mm/ss) of the data start time (UT)
DATE1 = '02/01/96' / Date(dd/mm/yy) of the data end time (UT)
TIME1 = '12:21:57' / Time(hh/mm/ss) of the data end time (UT)

```

となっているが、正しくは MTIME0 に 2 秒加算、MTIME1 に 3 秒加算する。これ以降、次の閏秒が入るまではすべて

- TIME コラムはすべて 3 秒加算
- MTIME0 と MTIME1 の値を 3 秒加算

するのが正しい。なお、厳密には 0 時から 9 時までの姿勢決定で使用した UT は 1 秒ずつ進んでおり、したがって、1 秒ずつずれた軌道位置が使われたことになるが、この違いは無視してよい。また、0 時から 9 時の間では KSC 局による受信は行なわれておらず、したがって絶対時刻の較正は行なわれていないので、テレメトリ FRF の時刻は正しく刻まれている。

### 3.4 1997 年 7 月 1 日

姿勢ファイル fa970629\_1345.0030 (観測天体: SGP2) の 7 月 1 日 0 時付近の時刻は以下のようになっている。

```

104230 141868783.8712 1997/06/30 23:59:40
104231 141868787.8710 1997/06/30 23:59:44
104232 141868791.8710 1997/06/30 23:59:48
104233 141868795.8710 1997/06/30 23:59:52
104234 141868799.8710 1997/06/30 23:59:56
104235 141868803.8707 1997/06/30 23:59:60
104236 141868807.8707 1997/07/01 00:00:03
104237 141868811.8707 1997/07/01 00:00:07
104238 141868815.8707 1997/07/01 00:00:11
104239 141868819.8704 1997/07/01 00:00:15

```

となっており、時刻の異常が見られない。ところがヘッダーでは

```
MTIME0 = 141745527.6017 / Data start time in mission time
MTIME1 = 141870643.8380 / Data end time in mission time
DATE0 = '29/06/97' / Date(dd/mm/yy) of the data start time (UT)
TIME0 = '13:45:27' / Time(hh/mm/ss) of the data start time (UT)
DATE1 = '01/07/97' / Date(dd/mm/yy) of the data end time (UT)
TIME1 = '00:30:43' / Time(hh/mm/ss) of the data end time (UT)
```

となっており、開始時刻が3秒ずれていたのに対して、終了時刻が4秒ずれている。

実はこの時に宇宙研のデータファイルに閏秒の挿入を行なったのが7月9日であり、7月1日から7月9日の間に作成されたテレメトリ FRF では1997年7月1日の閏秒がそもそも反映されていなかった。一方、姿勢ファイルの最終的な作成日は7月31日であり、その時点で書かれたヘッダーには閏秒の挿入し忘れが反映され、TIME1 で4秒の差になったと考えられる。したがって、この姿勢 FRF のミッション時刻はすべて3秒ずつ加算し、MTIME0 と MTIME1 も3秒加算、TIME1 は00:30:42 とするのが正しい。

また、テレメトリ FRF のうち ft970702\_0340.0346m と ft970702\_0346.0950 (観測天体: TOL 0109-383) は閏秒のテーブルが更新されていない時期にテレメトリ FRF が作成されており、テレメトリ FRF の時刻が (したがって姿勢 FRF の時刻も)1秒ずれている。これらについては、

- テレメトリ FRF のミッション時刻を1秒加算
- テレメトリ FRF の MTIME0 と MTIME1 を1秒加算
- テレメトリ FRF の TIME0 と TIME1 を1秒加算
- 姿勢 FRF のミッション時刻を3秒+1秒=4秒加算
- 姿勢 FRF の MTIME0 と MTIME1 を4秒加算

する。その他の姿勢ファイルについては、次の閏秒まで

- TIME コラムはすべて4秒加算
- MTIME0 と MTIME1 の値を4秒加算

するのが正しい。

### 3.5 1999年1月1日

以下は、姿勢ファイル fa981231\_0000.2332 (観測天体: RX J0136-31) の閏秒挿入前後の時刻を示したものである。3列めは正しく変換した UT である。

```
12830 189302400.5912 1998/12/31 23:59:56
12831 189302404.5912 1998/12/31 23:59:60
12832 189302408.5912 1999/01/01 00:00:03 ... (A)
12833 189302411.5912 1999/01/01 00:00:06 ... (B)
12834 189302415.5912 1999/01/01 00:00:10
12835 189302419.5912 1999/01/01 00:00:14
```

本来4秒間隔であるべきところが、(A)と(B)の間で3秒間隔になっている。したがって、(A)までのミッション時刻は4秒加算、(B)以降は5秒加算するのが正しい。このファイルのヘッダーは、

```
MTIME0 = 189216092.8085 / Data start time in mission time
MTIME1 = 189387095.3781 / Data end time in mission time
DATE0 = '31/12/98' / Date(dd/mm/yy) of the data start time (UT)
TIME0 = '00:01:32' / Time(hh/mm/ss) of the data start time (UT)
DATE1 = '01/01/99' / Date(dd/mm/yy) of the data end time (UT)
TIME1 = '23:31:35' / Time(hh/mm/ss) of the data end time (UT)
```

となっているが、正しくは MTIME0 に4秒加算、MTIME1 に5秒加算する。TIME0 と TIME1 はそのままでよい。これ以降で Y2K 対応がなされる前の姿勢ファイルはすべて、

- TIME コラムはすべて5秒加算
- MTIME0 と MTIME1 の値を5秒加算

するのが正しい。

MTIME から TIME への変換部分のバグは Y2K 対応時に修正がなされたので、Y2K 対応後の姿勢ファイルについては、

- TIME コラムはすべて 5 秒加算
  - MTIME0 と MTIME1 の値を 5 秒加算
  - TIME0 と TIME1 の値を 5 秒加算
- する必要がある。